饲粮营养素对水禽腹脂沉积影响的研究[1]

盛东峰　朱自学　武安泉

（周口师范学院生命科学与农学学院，周口　466001）

摘　要：腹脂是水禽用以贮存能量的重要形式，腹脂沉积对水禽产品品质能够产生重要影响。饲粮营养素可通过直接或间接途径影响血液生化指标、脂肪代谢酶活性及其表达水平调控水禽腹脂沉积。本文综述了能量、蛋白质、纤维物质、脂肪、维生素等对水禽腹脂沉积的影响及其机制，旨在为水禽腹脂营养调控提供理论依据。

关键词：营养素；水禽；腹脂沉积；调控

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

为了满足生产和消费的需要，早期的育种工作者比较注重品种的上市体重、生长速度、饲料报酬等生产性能，使选育出的新品种在具有较高的生长性能、屠宰性能及饲料转化效率等优势的同时，体、腹脂比例偏高的问题也日益突出[1]。作为体内重要的能源物质及能量贮备形式之一，体、腹脂对家禽的生长发育、繁殖及物质代谢起着非常重要的作用。然而体、腹脂比例过高，不仅对胴体品质、风味、禽肉产品的加工与储存产生不良影响，影响消费者的接受程度，而且由于这些脂肪大部分是家禽生理活动所不需要的，在造成饲料浪费的同时，也降低了养殖企业的生产效益。

和哺乳动物不同，家禽自身直接合成脂肪的能力有限，机体脂肪积累除依赖肝脏外，肠道外源脂肪摄取也是影响其脂肪积累的重要因素[2]。因此，通过营养素影响脂肪代谢已经成为调控家禽脂肪沉积的重要手段之一。目前，营养素对鸡脂肪代谢影响的研究较多，且较为透彻[3]。而水禽相关研究较少，且结果较不统一。水禽和鸡不同，可通过丙酮酸-苹果酸和戊糖磷酸循环2条途径调控脂肪酸合成[3]。总结营养素对水禽腹脂沉积的影响及其机制，对水禽脂肪代谢研究具有重要意义。本文从营养素类型对腹脂沉积的影响着手，综述了能量、蛋白质、纤维物质、氨基酸、脂肪、维生素等对水禽腹脂沉积的影响，初步分析了调控机制，旨在为水禽产品品质改善提供参考。

1　能量对水禽腹脂沉积的影响

收稿日期：2015-08-14

基金项目：河南省教育厅自然科学基金（148230010）；周口师范学院中青年骨干教师项目

作者简介：盛东峰（1978-），男，河南周口人，副教授，博士研究生，从事畜产品安全生产与加工研究。E-mail:　shengdongfeng@126.com

能量是影响家禽脂肪代谢最重要的营养因子之一。它可以通过影响采食量、饲料利用率及脂肪代谢过程，调控家禽脂肪代谢[4-6]。大量研究表明，随着饲粮能量水平的提高，试验鸭、鹅腹脂率显著升高[7-10]。魏宗友等[11]报道，高能饲粮组扬州鹅肝脂酶（hepatic lipase,*HL*）mRNA表达水平显著增加。这意味水禽摄入较多的能量后，为了防止体脂代谢紊乱或过多的肝脏脂肪堆积，机体通过提高HL、脂蛋白脂酶（lipoprteinlipase,LPL）活性，增强了对甘油三酯（triglyceride，TG）的水解。和鸡不同，水禽的脂肪酸合成途径不仅有丙酮酸-苹果酸途径参与，戊糖磷酸循环也起着关键作用[3]。戊糖磷酸循环也称单磷酸己糖支路，是产生还原性核苷酸（NADPH）的重要途径。脂类合成离不开NADPH的参与，而NADPH的浓度受苹果酸脱氢酶(malate dehydrogenase,MDH)、6-磷酸葡萄糖脱氢酶(glucose-6-phosphate dehydrogenase,G-6-PDH)、6-磷酸葡萄糖酸脱氢酶(6-phosphogluconate dehydrogenase,6-PGD)控制。饲粮能量水平通过对MDH、G-6-PDH、6-PGD、脂肪酸合成酶（fatty acid synthase,FAS）等一系列脂肪合成关键酶产生影响[12]，实现对肝脏脂肪合成代谢的调控，继而影响水禽的腹脂沉积。李娟娟[13]在鸡的研究中发现，与低、高能组相比，中能组腹脂率显著增高，并推测饲粮能量水平与机体脂肪沉积的关系函数之间可能存在一个拐点。由于水禽的相关研究较少，其机体脂肪沉积是否也存在这一现象，还需要进一步研究。

能量来源不同对动物脂肪代谢的影响也不同。作为动物最主要的能量物质和脂肪合成前体的提供者，碳水化合物比油脂更能促进脂肪沉积[14]。Volek等[15]研究证实，碳水化合物可通过启动碳水化合物-胰岛素条件轴，激活升脂基因固醇调节元件结合蛋白1C（sterol regulatory element-binding protein 1C，*SREBP*-1*C*）和碳水化合物反应元件结合蛋白(carbohydrate response element binding protein,ChREBP，继而提高乙酰辅酶羧化酶（acetyl-CoA carboxylase,ACC）、FAS等下游脂肪酸合成酶的活性，促进脂肪合成。胰岛素是一种重要的生脂激素，血浆胰岛素浓度增加，血糖进入机体细胞的量增大，脂肪沉积也会相应增加。

2 蛋白质与氨基酸对水禽腹脂沉积的影响

2.1 蛋白质

家禽饲粮蛋白质水平不仅能够影响饲料生产成本，而且与采食量、日增重、胴体品质密切相关。研究显示，随着饲粮蛋白质水平的升高，试验鹅、鸭腹脂率显著降低或呈降低趋势[3,16]。据此，我们可以认为饲粮蛋白水平必定通过直接或间接方式影响了水禽脂肪代谢。动物体脂除依靠摄入的脂肪外，更多的来源于肝脏合成，脂肪酸合成以乙酰辅酶A和NADPH为底物，历经7次酶促反应催化完成。其中，FAS和ACC是这一反应体系的关键限速酶，饲

粮蛋白质水平可能通过影响这2种酶的活性及表达参与腹脂代谢调控。Yalcin等[17]发现，随着饲粮蛋白质水平的升高，试验肉仔鸡肝脏FAS活性及其mRNA表达水平显著下降。周长海[18]也注意到，ACC活性伴随鹅饲粮中蛋白质水平升高而降低。这表明饲粮中的蛋白质直接参与了水禽脂肪代谢。鸭和鸡的脂肪酸合成途径不同，不仅有丙酮酸-苹果酸途径存在，也有戊糖磷酸循环参与[3]。饲粮蛋白质水平通过影响ACC、FAS等参与脂类代谢的酶的活性及其mRNA表达水平，实现对不同途径脂肪酸合成的调控，最终影响水禽的腹脂沉积[19]。高饲粮蛋白质水平组鹅采食量和总能（GE）代谢率降低及高蛋白质水平饲粮代谢过程需要消耗较多的能量，也可能是影响水禽腹脂沉积的重要因素[20]。

2.2 氨基酸

氨基酸因其在动物生产中的特殊地位和作用，备受研究人员的关注。目前，氨基酸对家禽体脂沉积影响的研究主要集中在蛋氨酸、赖氨酸和精氨酸上。

2.2.1 蛋氨酸

蛋氨酸是家禽玉米-豆粕型饲粮中的第一限制性氨基酸，作为蛋白质合成的原料及主要的甲基供体，对促进动物生长发育和产品生产具有重要作用。有研究显示，随着蛋氨酸在饲粮中添加量的增加，试验动物腹脂量下降[21-22]。范守城等[23]也发现，随着饲粮蛋氨酸水平的升高，试验肉鹅腹脂率呈先降低后升高的趋势。饲粮蛋氨酸可以通过降低血液中TG水平及FAS活性，增加激素敏感脂肪酶(hormone-sensitive lipase,HSL)活性来调节脂肪合成代谢[24]。

2.2.2 赖氨酸

作为限制性氨基酸，赖氨酸在家禽生长和肉品质形成方面均起着重要作用[25]。Attia[26]发现，赖氨酸缺乏可导致试验鸭腹脂量显著增加，而补充赖氨酸后，因赖氨酸缺乏所产生的现象消失。林谦等[27]指出，0.85%赖氨酸水平饲粮能显著降低试鸭腹脂率。赖氨酸具有降低血液TG水平，升高血清三碘甲状腺原氨酸(T3)、甲状腺素(T4)水平的趋势，血液TG水平降低及血清T3、T4水平升高都意味着赖氨酸可以促进脂肪代谢，减少腹脂沉积[28]。

2.2.3 精氨酸

对家禽而言，精氨酸是一种多功能必需氨基酸，目前已经被应用于家禽脂肪代谢调控中。Wu等[29]研究显示，随着饲粮精氨酸添加量的增加，试验鸭腹脂沉积量减少。方勇军等[30]也发现，精氨酸有降低肉鸭腹脂率的趋势。饲粮中添加精氨酸，试验鸭MDH、G-6-PDH、FAS活性下降，*FAS* mRNA表达被抑制，脂肪合成能力下降；此外，另有研究发现，肉碱脂酰转移酶(carnitine acyltransferase I,*CPTI*)及3-羟脂酰辅酶A脱氢酶（3-hydroxyacyl CoA

dehydrogenase,*3HADH*）mRNA表达增强，脂肪酸β-氧化增加，体脂沉积减少[29]。

3　纤维物质对水禽腹脂沉积的影响

早期曾认为水禽消化道内缺乏对纤维素分解的酶，纤维不能被鹅、鸭利用[31]。但越来越多的研究表明，在水禽饲粮中加入适当比例的纤维对其生长、繁殖及消化道结构功能正常发挥均有帮助[32-33]。和鸭相比，鹅喜食青饲料，因此，纤维对鹅屠体品质影响的研究相对较多。研究显示，纤维来源对鹅腹脂率有一定影响，如稻壳、黑麦草、麸皮等，有降低腹脂率的趋势，但效果不显著。张玲等[34]、朱晓春等[35]发现，饲粮中添加苜蓿、稻壳可显著降低试验鹅血清TG水平。血清TG水平常常作为判定动物机体脂肪代谢正常与否的重要指标，其水平与腹脂率呈显著负相关[36]。苜蓿和稻壳能够降低试验鹅血清TG水平，表明其中纤维物质有降血脂作用，可能更有利于鹅的脂肪代谢。史莹华等[37]的研究显示，与花生秧组相比，苜蓿草粉组四川白鹅腹脂率显著降低。吴超[38]也发现，高玉米秸添加量饲粮可显著降低吉林白鹅和卡洛斯鹅的腹脂率。由此可以看出，纤维来源不同、纤维组分比例存在差异，对水禽腹脂沉积的影响也会不一致。

4　脂肪对水禽腹脂沉积的影响

脂肪是对动、植物油脂的统称，通常作为主要的能量来源添加到家禽饲粮中[39-40]。脂肪对水禽腹脂沉积的影响主要体现在脂肪酸链的长短、饱和程度及饱和键的位置等方面。

4.1　脂肪类型

研究显示，饲粮中添加脂肪的类型及比例均能影响家禽腹脂沉积和脂肪酸组成[41-43]。刘刚等[44]发现，和添加猪油相比，添加鱼油、玉米油、豆油能显著降低朗德鹅的腹脂沉积。喻礼怀等[45]研究表明，饲粮中n-6/n-3多不饱和脂肪酸（polyunsaturated fatty acid,PUFA）比例为6:1组试验鹅腹脂率显著低于比例为9:1和12:1组。脂肪类型不同，脂肪酸组成、链的长短、不饱和程度及双键位置均不同，对动物脂肪代谢的影响不同。与饱和程度较高的动物油相比，富含不饱和脂肪酸的植物油能有更有效地抑制FAS活性及其基因的表达，增强CPTI及3HADH活性[46]，使脂肪酸合成减少，脂肪酸氧化增加，脂肪沉积相应减少。和短链不饱和脂肪酸相比，长链不饱和脂肪酸能够抑制肝脏*ACC* mRNA的表达，但对脂肪组织*ACC* mRNA的表达没有显著影响，体现了PUFA对脂肪代谢调控的组织特异性。

n-3、n-6 PUFA作为必需脂肪酸，其在动物体内的生理功能存在差异，二者抑制家禽体脂合成的机制也不同[47]。研究显示，和葵花籽油相比，亚麻籽油可显著增加试验仔鸡心肌3HADH活性，而对肝脏苹果酸酶（ME）、G-6-PDH活性没有显著影响[48]。这表明，亚麻籽油是通过促进脂肪酸β-氧化，而非抑制脂肪酸合成来降低腹脂沉积的[49]。

4.2 共轭亚油酸(conjugated linoleic acid,CLA)

CLA是对亚油酸位置和几何异构体混合物的统称，通常作为一种功能性营养补充剂添加到动物饲粮中。继Simon等[50]发现饲粮中添加CLA使试验鸡皮下脂肪沉积量显著减少之后，国内外学者对饲粮中添加CLA对试验家禽腹脂沉积的影响开展了大量研究[51-52]。结果表明，与不添加或添加大豆油相比，饲粮中添加CLA后试验家禽腹脂量显著减少[53-54]。作为能量分配剂，CLA可以通过调整能量代谢与营养重分配实现对腹脂沉积的影响。目前，有关CLA调控腹脂沉积的理论研究较多，可能的机制为[55-56]：1）通过作用于与脂肪代谢相关的激素，如生长素（GHR）、肾上腺素、去甲肾上腺素等，通过拮抗胰岛素对脂肪合成的刺激作用，抑制FAS的活性及mRNA表达，增加脂肪分解，减少脂肪合成；2）通过影响脂肪代谢相关酶的活性及mRNA表达，如HSL的活性及mRNA表达，抑制FAS和LPL的活性，减少脂肪的合成；3）通过调控相关转录因子，如显著抑制皮下脂肪中过氧化物酶体增殖物激活受体γ(*PPARγ*)、脂肪细胞脂肪酸结合蛋白(*aP*2)、脂肪细胞决定和分化因子1(*ADD*1)mRNA的表达，减少腹脂合成；4）通过降低动物代谢率、抑制脂肪前体细胞增殖与分化，减小脂肪细胞体积。其具体机制还有待进一步验证。

5 维生素对水禽腹脂沉积的影响

维生素作为生物反应过程中的辅基或辅酶，通过影响一碳单位的代谢途径实现对脂肪代谢酶类的调控及对脂肪沉积的影响[57-58]。作为甲基供体，叶酸、维生素B_6、胆碱可间接增强机体肾上腺素的分泌，降低肝脏MDH活性，参与肝脏脂质代谢调节，降低试验家禽腹脂率[59-61]。维生素B_6对五龙鹅腹脂率的影响不显著，也在一定程度表明间接途径对水禽腹脂沉积调控的局限性[62]。

维生素A具有较强的类激素活性，能够通过视黄酸结合蛋白调控促进生长激素的分泌，减少脂肪沉积[63]；也可以通过其代谢产物视黄酸抑制乙酰辅酶A基因的表达，阻止未成熟脂肪细胞的分化，来减少脂肪沉积重要途径[64]。孙淑洁等[65]认为，维生素A能调节甲状腺素和胰岛素的分泌，降低腹脂沉积。由于相关研究较少，维生素A对水禽腹脂沉积的具体影响还有待探讨。

以黄素单核苷酸(flavin mononucleotide,FMN)和黄素腺嘌呤二核苷酸(flavin adenine dinucleotide,FAD)形式存在的核黄素，是脂肪代谢过程中多种酶的辅酶，也是目前对腹脂沉积影响研究较多的一种维生素。王鑫等[66]、唐静[67]研究显示，饲粮中添加核黄素试验鹅腹脂率显著降低。作为辅酶，维生素B_2的添加能够减少应β-氧化受损现象的发生，增强脂肪分解。维生素B_2也可能够通过降低蛋鸭血清TG和游离脂肪酸水平，抑制其腹脂沉积[68]。

6　锰、铬对水禽腹脂沉积的影响

锰是一种必需微量元素，对家禽脂肪代谢极其重要[69]。它既是精氨酸激酶、丙酮酸羧化酶的重要辅基，同时还是某些激酶、水解酶、脱羧酶和转移酶的激活剂。张雪君等[70]研究显示，饲粮中添加120 mg/kg的锰，试验鹅腹脂率显著降低。饲粮添加锰还可降低试验家禽腿肌MDH和腹脂LPL活性，增加腹脂HSL活性，使脂肪的合成减少，分解增加，腹脂沉积减少[71]。

作为葡萄糖耐量因子（GTF）的活性成分，3价铬离子通过GTF协助增强胰岛素水平，调节血液中胆固醇水平，参与脂肪代谢[72]。饲粮中铬不足时，试验动物血液中胰岛素水平降低，糖代谢受到影响，继而导致脂肪代谢紊乱；补充铬后胰岛素水平及LPL和卵磷脂胆固醇酰基转移酶(LCAT)活性增强，高密度脂蛋白(HDL)合成增多，脂肪代谢增强[73]。李海卫[74]、刘安芳[75]的研究显示，吡啶酸铬可显著降低试验鸭腹脂率。唐春祥等[76]的研究则显示，吡啶铬对试验鸭腹脂率无显著影响。由此可以看出，铬的添加效果与其产品来源、添加时间、试验对象有关。

7　小　结

脂肪代谢是一个多因素、多途径、复杂的过程，影响因素较多。饲粮营养素一方面作为原料直接参与脂肪酸的从头合成；另一方面通过影响血液中的激素水平，间接调控脂肪酸合成关键酶的活性与mRNA表达。水禽和鸡的脂肪代谢途径有相同之处，但也存在差异。目前，虽然鸡腹脂代谢调控技术研究的较为完善，机制也已经基本阐明，但水禽的相关研究还较少。因此，大规模开展水禽脂肪代谢规律及其机制研究仍是当前的工作重点。随着分子生物学和生物信息学技术的迅猛发展，未来水禽脂肪代谢营养调控研究应定位在综合调控技术及分子机制研究方面，问题的解决将有助于为水禽腹脂沉积的营养调控提供更深入的理论支持。

参考文献：

[1] 杨建,柴路,黄艳玲.肉鸡腹脂沉积营养调控[J].畜牧与兽医,2015,47(3):127–129.

[2] 蒋瑞瑞.烟酸对鸡脂肪代谢和肉品质的影响及作用机理[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2010.

[3] 李志鹏.日粮蛋白水平对北京鸭生产性能和脂肪代谢的影响[J].饲料工业,2009,30(17):7–10.

[4] 程红娜,梁明振,杨家晃,等.日粮代谢能、粗蛋白质、钙和磷水平对合浦鹅养分利用率的影响[J].粮食与饲料工业,2007(8):38–40.

[5] 施寿荣,王志跃,杨海明,等.日粮能量和蛋白质水平对 5~10 周龄仔鹅生产性能的影响[J].饲料工业,2006,27(23):39–42.

[6] 张玲,袁旭红,段修军,等.不同粗蛋白水平日粮对仔鹅生长性能、血液生化指标和血清激素的影响[J].中国家禽,2011,33(16):29–33.

[7] 赵健楠,高玉鹏,侯水生,等.不同能量与蛋白质水平对生长前期北京鸭生产性能的影响[J].

中国饲料,2009(13):18–21.

[8] 叶慧,蒋启东,杨琳.夏季气候下饲粮能量与蛋白水平对 30~60 日龄麻鸭生产性能及屠宰性能的影响[J].饲料工业,2013,34(12):24–29.

[9] FAN H P,XIE M,WANG W W,et al.Effects of dietary energy on growth performance and carcass quality of white growing Pekin ducks from two to six weeks of age[J].Poultry Science,2008,87(6):1162–1164.

[10] XIE M,ZHAO J N,HOU S S,et al.The apparent metabolizable energy requirement of White Pekin ducklings from hatch to 3 weeks of age[J].Animal Feed Science and Technology,2010,157(1/2):95–98.

[11] 魏宗友,王梦芝,张红伟,等.日粮能量水平对扬州鹅脂肪代谢及 HL 基因表达的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(1):37–41.

[12] BACK D W,GOLDMAN M J,FISCH J E,et al.The fatty acid synthase gene in avian liver.Two mRNAs are expressed and regulated in parallel by feeding,primarily at the level of transcription[J].Journal of Biological Chemistry,1986,261(9):4190–4197.

[13] 李娟娟.油脂类型和日粮能量及其互作对肉仔鸡脂肪代谢的影响[J].硕士学位论文.北京：中国农业科学院，2008.

[14] 张金伟.能量来源对产蛋鸡肝脏脂肪代谢的影响及其机制研究[D].博士学位论文.雅安:四川农业大学,2009.

[15] VOLEK J S,FEMANDEZ M L,FEINMAN R D,et al.Dietary carbohydrate restriction induces a unique metabolic state positively affecting atherogenic dyslipidemia,fatty acid partitioning,and metabolic syndrome[J].Progress in Lipid Research,2008,47(5):307–318.

[16] 陈明君,彭祥伟,李琴.能量和粗蛋白质水平对 4~8 周龄四川白鹅屠宰性能的影响研究[J].中国家禽,2014,36(19):25–29.

[17] YALCIN S,ÖZKUL H,ÖZKAN S,et al.Effect of dietary protein regime on meat quality traits and carcase nutrient content of broilers from two commercial genotypes[J].British Poultry Science,2010,51(5):621–628.

[18] 周长海,大谷滋,仇学军.代谢能及蛋白质对前期肉鸭生长和脂肪代谢的影响[J].饲料研究,2008(1):4–6.

[19] JLALI M,GIGAUD V,MÉTAYER-COUSTARD S,et al.Modulation of glycogen and breast meat processing ability by nutrition in chickens:effect of crude protein level in 2 chicken genotypes[J].Journal of Animal Science,2012,90(2):447–455.

[20] 李琴,陈明君,彭祥伟.饲粮粗蛋白质和代谢能水平对 9~10 周龄四川白鹅生产性能和氮平衡的影响[J].动物营养学报,2015,27(1):1–9.

[21] 谢明,侯水生,黄苇,等.3~6 周龄雄性北京鸭蛋氨酸需要量的研究[J].中国畜牧杂志,2006,42(21):26–27.

[22] 周秋燕,王志跃,杨海明,等.不同蛋氨酸水平对 5~10 周龄扬州鹅生长性能及氮平衡的影响[J].中国饲料,2008(1):25–27.

[23] 范守城,邹建,彭祥伟.不同蛋氨酸水平对 5~10 周龄四川白鹅生产性能的影响研究[J].黑龙江畜牧兽医,2014(7):96–99.

[24] 周晓容,高巧仙,杨飞云,等.日粮蛋氨酸水平对 6~10 周龄四川白鹅生产性能和血液代谢指标的影响[J].西南师范大学学报:自然科学版,2012,37(11):90–93.

[25] TESSERAUD S,BOUVAREL I,COLLIN A,et al.Daily variations in dietary lysine content alter the expression of genes related to proteolysis in chicken pectoralis major muscle[J].The Journal of Nutrition,2009,139(1):38–43.

[26] ATTIA Y A.Performance,carcass characteristics,meat quality and plasma constituents of meat type drakes fed diets containing different levels of lysine with or without a microbial phytase[J].Archives of Animal Nutrition,2003,57(1):39–48.
[27] 林谦,戴求仲,蒋桂韬,等.不同赖氨酸水平日粮对 49~70 日龄临武鸭屠宰性能的影响[J].中国饲料,2014(1):23–25.
[28] NASRJ,KHEIRI F.Effect of different lysine levels on Arian broiler performances[J].Italy Journal of Animal Science,2011,10(3):170–174.
[29] WU L Y,FANG Y J,GUO X Y.Dietary *L*-arginine supplementation beneficially regulates body fat deposition of meat-type ducks[J].British Poultry Science,2011,52(2):221–226.
[30] 方勇军,郭小阳,吴灵英.*L*-精氨酸盐酸盐对肉鸭生产性能、屠体性状和脂肪的影响[J].粮食与饲料工业,2009(5):39–42.
[31] 张亚俊.纤维水平对仔鹅生产性能、消化道发育及养分利用的影响[D].硕士学位论文.扬州:扬州大学,2008.
[32] 周海柱,赫忠睿,王军,等.不同纤维源日粮对吉林白鹅生产性能和小肠发育影响的研究[J].中国畜牧杂志,2015,51(15):37–40.
[33] 胡民强,胡敏华.不同纤维水平日粮对肉鹅生产性能的影响[J].农业现代化研究,2010,31(1):118–120.
[34] 张玲,周根来,段修军,等.日粮代谢能和粗纤维水平对 0~4 周龄肉鹅生产性能及血清生化指标的影响[J].中国兽医学报,2015,35(7):1187–1192,1198.
[35] 朱晓春,张得才,孙红暖,等.不同纤维源饲粮对 1~4 周龄扬州鹅生长性能及胃肠道发育的影响[J].动物营养学报,2014,26(3):760–767.
[36] 王健,段修军,龚道清,等.番鸭血脂性状与腹脂率、肌脂率、肝脂率的关系[J].黑龙江畜牧兽医,2002(11):7–8.
[37] 史莹华,王成章,姚惠霞,等.不同类型粗纤维饲料对四川白鹅生产性能的影响[J].动物营养学报,2010,22(6):1752–1756.
[38] 吴超.日粮纤维对不同品种鹅脂肪代谢和 *LPL* 基因 mRNA 表达量的影响[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2014.
[39] 胡骏鹏,何瑞国,范卫星,等.豆油能量对朗德鹅超饲养前期生长性能、血清参数及其相关激素水平的影响研究[J].中国粮油学报,2008,23(1):131–136.
[40] 周玉传,赵茹茜,卢立志,等.饲用脂肪对产蛋后期绍兴鸭生产性能及血清 GH 和 IGF-1 水平的影响[J].南京农业大学学报,2001,24(3):61–64.
[41] 刘安芳,朱庆,阳泽平.饲料中添加油脂对肉鸭生产性能的影响[J].畜禽业,2006(10):18–19.
[42] 李新杰.饲粮油脂和虾青素对肉鸭脂肪酸构成和脂质稳定性的影响[D].硕士学位论文.武汉:武汉工业学院,2012.
[43] 邝智祥,王俐智,王惠影,等.添加不同脂肪酸对填饲朗德鹅产肝性能、屠宰性能及体脂沉积的影响[J].中国家禽,2008,30(23):9–12,16.
[44] 刘刚,谭本杰,彭忠宁,等.添加不同油脂对朗德鹅超饲养期肥肝与生产性能的影响[J].饲料工业,2009,30(19):24–26.
[45] 喻礼怀,王剑飞,王梦芝,等.n-6/n-3 多不饱和脂肪酸不同比例对扬州鹅生产性能和屠宰性能的影响[J].中国家禽,2012,34(23):18–22.
[46] SANZ M,LOPEZ-BOTE C J,MENOYO D,et al.Abdominal fat deposition and fatty acid synthesis are lower and β-oxidation is higher in broiler chickens fed diets containing unsaturated rather than saturated fat[J].The Journal of Nutrition,2000,130(12):3034–3037.

[47] NEWMAN R E,BRYDEN W L,FLECK E,et al.Dietary n-3 and n-6 fatty acids alter avian metabolism:metabolism and abdominal fat deposition[J].British Journal of Nutrition,2002,88(1):11–18.

[48] FERRINI G,MANZANILLA E G,D MENOYO,et al.Effects of dietary n-3 fatty acids in fat metabolism and thyroid hormone levels when compared to dietary saturated fatty acids in chickens[J].Livestock Science,2010,131（2）:287-291.

[49] CHEN W,JIANG Y Y,WANG J P,et al.Effects of dietary flaxseed meal on production performance,egg quality,and hatchability of *Huoyan* geese and fatty acids profile in egg yolk and thigh meat from their offspring[J].Livestock Science,2014,164:102–108.

[50] SIMON O,MÄNNER K,SCHÄFER K,et al.Effects of conjugated linoleic acids on protein to fat proportions,fatty acids,and plasma lipids in broilers[J].European Journal of Lipid Science and Technology,2000,102(6):402–410.

[51] BADINGA L,SELBERG K T,DINGES A C,et al.Dietary conjugated linoleic acid alters hepatic lipid content and fatty acid composition in broiler chickens[J].Poultry Science,2003,82(1):111–116.

[52] ZHOU J.Effect of dietary conjugated linoleic acid (CLA) on abdominal fat deposition in yellow-feather broiler chickens and its possible mechanism[J].Asian-Australia Journal of Animal Sciences,2008,21(12):1760–1765.

[53] 刘光芒,吴德,何祖锋.共轭亚油酸对肉鸭生产性能与屠体性状的影响研究[J].中国畜牧兽医,2005,32(11):3–5.

[54] ZHANG X H,WANG B W,LONG F Y,et al.The effects of dietary conjugated linoleic acid (CLA) on fatty acid composition and key enzymes of fatty acid oxidation in liver and muscle of geese[J].Turkish Journal of Veterinary and Animal Science,2009,33(3):215–222.

[55] 柴路,杨建,郑灿财,等.共轭亚油酸与铬对 0~3 周龄热应激肉仔鸡生长和血清脂类代谢及体脂沉积的影响[J].中国畜牧杂志,2015,51(5):39–44.

[56] 陆春瑞.共轭亚油酸对肉鸡生产性能及腹脂相关基因的影响[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2007.

[57] 赵鑫.维生素、大豆黄酮和能量蛋白水平对浙东白鹅母鹅繁殖性能的影响[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2012.

[58] 魏立民,侯水生,谢明,等.维生素 A 和维生素 E 水平对北京鸭前期生产性能的影响[J].中国饲料,2010(9):8–10,14.

[59] 张文旭,王宝维,葛文华,等.饲粮添加胆碱对鹅生长性能、屠宰性能及养分表观利用率的影响[J].动物营养学报,2013,25(4):778–784.

[60] 马广兴,侯水生,刘福柱,等.日粮烟酸水平对北京鸭生产性能及血液生化指标的影响[J].安徽农业科学,2006,34(10):2141–2142.

[61] 王宝维,孟苓凤,葛文华,等.不同水平叶酸对 0~4 周龄肝用型仔鹅生长性能、屠宰性能、免疫和抗氧化能力的影响[J].中国畜牧杂志,2014,50(9):55–61.

[62] 王超,王宝维,葛文华,等.维生素 B6 对 1~4 周龄五龙鹅生长性能、屠宰性能及蛋白质代谢的影响[J].动物营养学报,2014,26(7):1814–1821.

[63] 呙于明.家禽营养与饲料[M].北京:中国农业大学出版社,1999.

[64] SURAI P F,ROYLE N J,SPARKS N H C.Fatty acid,carotenoid and vitamin A composition of tissues of free living gulls[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular & Integrative Physiology,2000,126(3):387–396.

[65] 孙淑洁,李文立,葛文华,等.维生素 A 对青农灰鹅屠宰性能和免疫性能的影响[J].中国饲料,2012(4):28–32.

[66] 王鑫,王宝维,葛文华,等.维生素 B_2 对 5~16 周龄五龙鹅屠宰性能、肌肉品质及脂肪代谢的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):98–105.

[67] 唐静.核黄素对 1~21 日龄北京鸭生产性能、抗氧化机能的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[68] 霍思远.核黄素对 5~11 周龄生长蛋鸭生产性能及生化指标的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2012.

[69] 张雪君,王宝维,葛文华,等.锰对 5~16 周龄五龙鹅血清生化指标、组织锰沉积量、抗氧化能力及胫骨发育的影响[J].动物营养学报,2014,26(5):1287–1293.

[70] 张雪君,王宝维,葛文华,等.锰对 5~16 周龄五龙鹅生长性能、屠宰性能、营养物质利用率及酶活性的影响[J].动物营养学报,2014,26(1):106–114.

[71] LU L,LUO X G,JI C,et al.Effect of manganese supplementation and source on carcass traits,meat quality,and lipid oxidation in broilers[J].Journal of Animal Science,2007,85(3):812–822.

[72] 刘进军,郭勇庆,刘洁,等.铬在动物营养中的作用及其机理研究进展[J].中国饲料,2014(20):15–18.

[73] 叶润全,吕敏芝,李卓俊,等.吡啶羧酸铬对肉鸭生产性能、屠宰性能及血液生化指标的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2005(4):30–31.

[74] 李海卫.有机铬对肉鸭生产性能屠宰指标和血中胆固醇含量的影响[J].当代畜牧,2005(10):19–21.

[75] 刘安芳.有机铬制剂对肉鸭生产性能和屠宰性能的影响[J].养禽与禽病防治,2005(3):2–4.

[76] 唐春祥,陈代文,余冰.吡啶羧酸铬、*L*-肉碱和甜菜碱对天府肉鸭生产性能和胴体品质的影响[J].中国饲料,2005(11):18–20.

Review of Effects of Dietary Nutrients on Abdominal Fat Deposition in Waterfowls

SHENG Dongfeng ZHU Zixue WU Anquan

(*School of Life Science and Agronomyk, Zhoukou Normal University, Zhoukou* 466001, *China;)*

Abstract: Abdominal fat is the important form for energy storage in waterfowl, and abdominal fat sediment has a major effect on product quality of waterfowl. The dietary nutrients could affect blood biochemical indexes, regulate metabolism activity and expression level of lipase by means of the direct way and the indirect way, thus participate in abdominal fat metabolism in waterfowl. This paper reviewed the effects and mechanisms of dietary energy, protein, fiber and fat on abdominal fat deposition in waterfowl, in order to provide theoretical basis for nutrition regulation of waterfowl's abdominal fat.

Key words: nutrients; waterfowl; abdominal fat deposition; regulation

Author, associate professor, E-mail: shengdongfeng@126.com (责任编辑 菅景颖)